

硅片超精密磨床的发展现状

詹玉峰 陈跃骅 方勇华 方小明 赵纪平
浙江旭盛电子有限公司, 浙江 衢州 324300

[摘要]超细硅晶圆磨床是半导体集成电路(IC)生产的重要设备。主要应用于 IC 制程芯片的制作与处理, 以及 IC 后处理芯片的粘接。国外超精密硅片研磨设备的生产技术得到了快速的发展, 其特点是精度高、集成化、自动化。文中主要阐述了超细研磨技术在超细硅片($\phi 300\text{ mm}$)上的应用。对国外超细铣床的性能进行了全面的综述。最后, 提出了大尺寸硅晶圆超精密制造技术的发展方向。

[关键词]硅片; 超精密磨床; 发展现状

DOI: 10.33142/ec.v5i7.6395

中图分类号: TH161

文献标识码: A

Development Status of Silicon Wafer Ultra Precision Grinding Machine

ZHAN Yufeng, CHEN Yuehua, FANG Yonghua, FANG Xiaoming, ZHAO Jiping
Zhejiang Xusheng Electronics Co., Ltd., Quzhou, Zhejiang, 324300, China

Abstract: Ultra fine silicon wafer grinder is an important equipment for semiconductor integrated circuit (IC) production. It is mainly used in the fabrication and processing of IC process chips and the bonding of IC post-processing chips. The production technology of ultra precision silicon wafer grinding equipment abroad has developed rapidly, which is characterized by high precision, integration and automation. This paper mainly expounds the application of ultra-fine grinding technology in ultra-fine silicon wafer ($\phi 300\text{ mm}$). The performance of foreign ultra-fine milling machines is comprehensively summarized. Finally, the development direction of ultra precision manufacturing technology of large-size silicon wafer is put forward.

Keywords: silicon wafer; ultra precision grinding machine; development status

引言

IC 制造过程包括四个阶段: 硅片制造—成型、前端、硅片测试和后端。在加工过程中, 采用精密机床和超精密机床等高技术设备, 如: 超精密磨床, 耐磨设备和抛光设备。在半导体基板制备过程中, 首先要把单晶硅棒材制成高表面精确度和高品质的光刻材料, 然后在集成电路前处理过程中制作出超光滑、无损的基板。在集成电路生产后加工中, 要达到集成电路的厚度, 就需要对其后表面进行软化, 从而达到集成电路的厚度。硅片和降低硅片后的表面。由于表面的粗糙性及残留压强, 使得芯片的硬度得以提高, 同时也能防止芯片内部产生碎片。

1 硅片超精密磨床的发展概况

在 IC 的量产中, 无论是原硅片的制造, 还是压纹硅片背面的贴合, 使用传统的自由曲面很难保证高精度的表面形状、表面质量和加工效率。设备 磨料研磨和抛光工艺设备, 用于处理硅片, 但其控制难度低, 难以实现自动化, 污染严重。在晶片大小增加(4300 毫米)时, 在表面准确度和制造效率上, 常规处理装置的缺陷将更为突出。在进行大直径硅片的同时, 必须适当增加研磨和研磨圆盘的大小。但是, 采用大尺寸研磨机来进行硅片的加工是非常困难的。与此同时, 设备所占的面积和功率消耗也随之增大。另外, 随着芯片的厚度增大, 物料的脱除率也随之

提高, 同时由于单个圆片加工的大尺寸圆片数目的限制, 导致芯片的生产效率下降。相比之下, 采用静态磨具的超精密磨削研磨技术具有高的加工速度、高的生产效率、高的生产成本、高的表面质量。可方便地进行工艺参数的实时监测与控制, 以及工艺的自动控制。因而, 超细研磨是集成电路生产中用于大尺寸硅片的一种高级设备, 在半导体工艺中占有举足轻重的地位。硅片的早期研磨设备是从常规的平面磨转变而来, 以并行砂轮为基础进行研磨。该硅板的抛光面为 $0.3\text{ }\mu\text{m}/200\text{ mm}$, 表面粗糙 $Ry0.02\text{ }\mu\text{m}$, 可以作为抛光的替代品。采用并行砂轮进行研磨, 因其受宽幅限制, 必须采用侧面研磨, 从而降低了研磨的精确性和工作效能。目前, 专业的金刚石杯式砂轮的端面研磨机已被大量应用, 代表机器是基于转台磨削原理的超细磨床和基于硅片磨削原理的超细磨床自动旋转^[1]。

(1) 旋转工作台式超精密磨床。圆盘研磨机是一种超细硅片研磨机。磨床使用静压气轴承砂轮, 以杯状金刚石砂轮对完成的工件进行研磨。与平行砂轮平面研磨相比, 它没有限制砂轮的直径, 也不需要侧面的切削, 提高了研磨的效率。一般采用往复式或慢式研磨, 可同时处理多个硅片。与传统的研磨工艺比较, 转台的平面研磨工艺具有较高的去除率, 减少了对硅箔表面的损伤, 易于加工。然而, 在研磨期间, 当砂轮与工件的相对位置发生接触时,

接触面积和入射角度(砂轮的外周和外周之间的角度)会发生改变,因此,力不能维持恒定。改变方法产生的研磨压力会使加工体系产生弹性变形,从而使硅片产生膨胀。在磨盘脱离硅片后,磨盘与硅片之间的切削角明显减少,使硅片发生崩解。所以,采用旋转工作台的平面研磨机取代研磨、雕琢等工艺,很难达到最优的表面精度和表面品质。特别是硅片的直径越大,旋转工作台的尺寸越大,对工作台的加工精度和加工精度就越高。另外,所需的机械设备所占空间和功率消耗也会随之增大。

(2) 硅片自旋转式超精密磨床。以研磨为基础的超精密磨床,采用稍大于硅片的研磨圆盘,一次将一块硅片置于真空卡板上。该硅片的中心与转台的中心位置一致,而杯状的金刚石磨轮则位于硅片的中央。研磨时,硅和砂轮绕着它的轴转动,只有轴向进给,不存在侧向移动。与一般的平板磨床相比,硅片盘的优势在于:由于玻璃杯磨盘仅做轴向的切削和磨削,所以磨削的长度、接触面积、切削角都是固定的,磨削力相对固定,可以改善硅片的加工精度。研磨过程中,研磨表面的形状与研磨表面的形貌存在着定量的联系。通过测量硅片的表面圆周,可以对磨盘的轴向角度进行调节,从而达到对硅片表面圆周的精确控制。随着硅片直径的增大,磨削的工作量也随之增大。在转台的平面研磨中,应加大砂轮的数目,加大往复式研磨的次数。在使用旋转研磨方法研磨硅片时,可以利用杯状砂轮的轴向切割和研磨来消除材料,不受限于硅片大小,适合大规模研磨。通过调节加工参数,可以使硅片在粗磨过程中得到有效的研磨,从而使研磨量迅速增加。在研磨过程中,可以使硅片进行延性研磨,从而降低硅片的表面破坏,从而提高硅片的加工效率。确保产品的外观质量。采用旋转研磨法对硅片进行研磨,使研磨后的硅片有一半永远处于研磨状态,从而可方便地对硅片的厚度及表面品质进行实时监测与控制。基于上述优势,以硅片旋转研磨为基础的超细机已逐渐成为硅片的主要加工设备,特别是在硅片大尺寸硅片和凹凸硅片表面的加工方面,逐渐替代了传统的硅片研磨和传统的端面抛光装置^[2]。

2 超精密磨削技术在制造中的作用和重要性

在硅片的量产过程中,超精密磨削技术已成为大尺寸硅片的一项关键技术,不论是在生产中,亦或是在芯片后端的粘接技术。超精密磨削抛光主要用于消除硅片的毛边,消除切削损害的层数,确保产品的破坏程度均匀,降低产品之间的厚度差异。硅片并改善硅片的特性。改善了钢板厚度的均匀性,改善了平整的平面,达到了较高的平整程度。具有快速的磨削、高自动化、高质量的加工过程。它能达到主流硅材料的工艺要求,是当前最主要的抛光工艺。背磨主要用于除去硅表面的绝大部分,降低了损害的影响,改善了产品的良品性,提高元件性能,延长使用寿命。背磨是最重要的回火方法,通常与对磨、对磨、干抛、对磨

和湿钻等其他工艺相结合。在背磨和回火过程中,硅片和芯片的厚度偏差、形状误差、表面粗糙度、表面损伤层厚度和硅片强度主要通过超细磨来保证。它在缓解过程中发挥着重要作用。

超精密磨床是超微硅片表面研磨的主要工艺装置,也是进行超微晶粒研磨的物质依据。当前,国内外对大尺寸硅片的超细磨工艺和设备进行了深入的探讨。该系统的高精度是由于硅片研磨机以精细研磨为主。一般情况下,在砂轮进给方向安装精进装置,使砂轮获得林的位移,精度与林的位移一样高。由于硅片制备阶段的磨削面精度较高,必须减少柔性工装的用量。研磨硅片时,一般都会存在研磨力,所以研磨系统的硬度必须达到支点。自动化程度高,要求连续的产品磨削。因而,目前多数的硅片加工设备都是由计算机来完成,降低了手工作业的干扰,保证了产品的品质。高的稳定性和更好的工作效果。超精密磨削磨机的工艺技术有:超微进给技术、磨削面控制技术、控制力磨削技术、数控技术、高速主轴技术、磨削磨削技术。利用超微进给技术实现的微进给控制系统,其工作特性与工艺参数将会影响其工作特性。大行程、高灵敏度、高精度、大尺寸的送料工艺是一项重要的工艺技术。随着特征线的减小,研磨表面的控制技术对硅片表面的平滑度的要求也随之增加,因此,如何在硅片表面上提高加工的精确性成为一个亟待解决的问题。可控力研磨工艺是衡量硅晶片加工工艺的一个关键因素,它将直接关系到晶片的加工精度、表面质量和加工质量。在超细粉碎机中,实时监控研磨能力是其核心技术。通过对数控机床进行精确的测量,实现了对机床的精确测量。保证微米加工的精密加工工艺是微米磨削加工的核心技术。硅砂轮工艺对高质量低成本的高质量、低成本的生产工艺提出了更高的要求,性能稳定,自锐性高,成本低,寿命高^[3]。

3 国内外硅片超精密磨床的特点

(1) 国外超精密磨床的特性。国内超微硅产品的制造历史悠久,技术领先,在国际上得到了快速的发展。美国、德国和日本等先进国家,在超微机加工方面都具有相当的技术含量,是世界上先进的加工设备。当前世界上先进的超细硅片研磨设备,其加工精度高,集成化,自动化和规模化。硅片抛光装置的大小是随著硅片大小增加而增加的。目前,国内生产厂家的主要生产设备为 200 mm、300 mm 的超细研磨设备。成套设备和功能的一体化是国外超细硅磨机的一大优势。硅片研磨通常分为粗磨和细磨两步。粗磨时,大多数的助剂都是用粗细的金刚石磨盘来除去。在精密研磨过程中,采用精细的金刚石磨具,将残余的助磨剂除去,并利用不产生电火花的研磨来降低切削液的面/底面损害,从而达到一个非常平滑的加工效果。目前,国内外对超细硅片研磨设备的研究主要集中在多个主轴和多个工作台上。粗磨,细磨,清洗,干燥,甚至分

拣都是在一个磨机上进行的。有了这款磨机,可以快速减薄硅片的厚度,为3D调试、磁卡制造等特殊应用提供厚度小于150 μm 的更薄硅片。超细硅片研磨机功能的整合,减少硅片设定次数,缩短制程路径。减少了硅片夹持和转移造成的表面损伤,便于保证硅片的加工精度和效率。减少了铣床占用的空间。功能集成度高的超细硅片机,适合大批量生产。随着硅片加工技术指标的不断提高,对超细硅片机的精度要求也越来越高。国外超精密磨床砂轮主轴和工作台转轴上均装有空气轴承,由伺服电机驱动。主轴旋转精度:广泛采用恒压气导和精密进给机构,可采用高精度计量和闭环控制系统。为使磨削芯轴达到亚微米进给,通过延性磨削去除脆性材料,产生较大的表面尺寸。采用磁力或电驱动装置调整砂轮主轴与磨盘的夹角工件主轴控制硅片的表面精度。自动磨床一般配备精度为0.1微米的高精度接触式测微仪。及时测量硅片的厚度,并将测量结果返回磨床控制系统。砂轮主轴的精确进给运动由控制系统根据测厚结果进行精确控制。一些超细研磨机使用精细气缸和研磨力检测系统来控制研磨力的方法来研磨硅片,减少研磨过程中的表面和亚表面损伤。超细硅片磨机还采用温控、隔振等措施,减少硅片加工过程中因温度和振动变化引起的机床误差,从而保证机床的精度。

在磨床控制系统的控制下,通过传动机械手和数控转盘实现磨削过程中硅片的自动传送。处理器带有旋转臂和真空吸盘,定位和夹持精度高,确保硅片在运输过程中不被损坏。在铣削开始时,机器人从硅片条上取出硅片并将其放置在定心单元上进行定心。对中后,硅片由机器人抓取并放置在CNC转盘装卸站的箔真空吸盘上。研磨后,处理器从上下料站的真空吸盘中取出硅片,送至清洗站清洗干燥,然后送入料仓入库。采用浮动式空气结构的转台,用于生磨、细磨、上下料工位的改造。在对面工位,旋转真空吸盘安装在数控转盘上。每次出片时,离子水反方向通过放电回路,便于自动出片。吸盘被真空冲洗,然后风干。为了提高机床的精度和效率,一些先进的超细磨床将粗磨和细金刚石砂轮组合在同一主轴上,可实现加工过程中粗磨和细砂轮的自动转换。目前有两种组合方式:一是结构紧凑,粗、细砂轮同轴制作为一体,粗、细砂轮工作面直径不同;另一种紧凑的伸缩结构是齿形排列,其中细砂轮块和粗砂轮块相互组装。通过扩大细磨轮的块体

来实现细磨和粗磨的转变。硅片由带有金刚石砂轮的超细磨床研磨。粗磨、精磨和无火花研磨可以在单晶片密封操作中完成。保持声明硅片加工定位不变,可达到较高的磨削精度。同时节省了磨工位的切换时间,提高了加工效率^[4]。

(2) 国产硅片超精密研磨机特性。国内外的半导体器件技术水平、稳定性、可靠性和自动化水平都有很大的差异,致使整个半导体器件都是进口的,占据了绝大部分的市场。甚至,一些基本的零件和材料,都是依靠国外的。目前我国IC企业所需要的半导体加工装备大多采用从外国整条流水线直接引进,采用的磨机大多是微型(150mm以下)的硅片铣削加工。我国目前200mm硅片的加工方法仍是以常规的磨削加工技术为主,而300mm大口径硅片的超细粉磨加工技术与装备尚不成熟^[5]。

4 结语

由于硅片的大小,以硅片研磨的旋转理论为基础,以硅片研磨的研磨工艺为基础,设计了一种新型的硅片研磨装置。国外大型硅片研磨设备技术成熟,并朝着硅片完全自动化、功能齐全、规模化、精细化的目标不断发展。相对于美国、日本等发达国家,我国对超细硅片铣床的研究起步较晚,我国的芯片生产技术受到限制。随着大规模硅片工艺装备的发展,研制出拥有自己专利技术的硅片磨削装置与装备,使其在国际上得到迅速发展。这是一个很大的战略问题。

[参考文献]

- [1]董志刚,田业冰,康仁科,等.硅片超精密磨床的发展现状[J].电子工业专用设备,2004,33(6):54-59.
 - [2]康仁科,田业冰,郭东明,等.大直径硅片超精密磨削技术的研究与应用现状[J].金刚石与磨料磨具工程,2003(4):13-18.
 - [3]冯薇.精密与超精密磨削的发展现状[J].精密制造与自动化,2009(2):7-9.
 - [4]朱祥龙,康仁科.300mm硅片超精密磨床设计与开发[J].机械工程学报,2013(4):192.
 - [5]袁巨龙,张飞虎,戴一帆,等.超精密加工领域科学技术发展研究[J].机械工程学报,2010,46(15):161-177.
- 作者简介:詹玉峰(1977.4-)男,衢州学院,大专,机电一体化专业,目前就职于浙江旭盛电子有限公司,担任总经理职务10年,职称为工程师。